

А.С. Корнев

Проектирование электрической части подстанции

**Методические указания по выполнению
проектирования по специальности: «Электрические
сети, станции и системы».**



2010г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	6
1.МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К РАСЧЕТУ	8
 <i>Расчёт графиков нагрузки потребителей на НН</i>	
<i>кабельные линии КЛ1 (КЛ2) к РП.</i>	8
 <i>Расчёт графиков нагрузки потребителей на НН</i>	
<i>(кабельные линии к ТП).</i>	10
<i>Расчёт мощности подстанции</i>	11
<i>Выбор силовых трансформаторов</i>	12
 2.ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА	
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ПРОВОДНИКОВ	13
<i>Выбор проводов ВН и шин НН.</i>	14
<i>Выбор сечений кабельных линий для питания РП</i>	15
<i>Выбор выключателей ВН</i>	16
<i>Выбор выключателей НН</i>	17
<i>Выбор разъединителей, отделителей, короткозамыкателей</i>	18
<i>Учет электроэнергии измерения на подстанции</i>	19
<i>Список рекомендуемой литературы</i>	23

ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование электрической части электростанций и подстанций является одним из важнейших и наиболее эффективных видов учебного процесса в техникуме, формирующего из студентов будущих техников-электриков. Курсовое проектирование является естественной логической ступенькой, подводящей студента к профессиональной задаче. Соответственно предшествующие типовые расчеты подготавливают студентов к качественному выполнению курсового проекта. При курсовом проектировании студент впервые самостоятельно проектирует электрическую часть конкретной электроустановки. При этом ему приходится использовать для решения тех или иных вопросов комплекс знаний, полученных из различных учебных курсов, на упражнениях, на производственной практике, а также в процессе выполнения типовых расчетов, домашних заданий, лабораторных работ. В процессе проектирования студент усваивает методику проектирования, учится работать с технической литературой, каталогами, ГОСТ, прейскурантами, справочниками, материалами проектных организаций и т. п. В помощь назначается преподаватель-руководитель, который направляют работу студентов, следит за глубиной проработки различных разделов проекта, помогает студенту в разрешении возникающих у него вопросов, указывает целесообразную для изучения техническую литературу, учит методике проектирования, следит за календарными сроками выполнения разделов проекта.

При проектировании студент должен научиться логически последовательно, мотивированно и доказательно решать поставленные в задании на проект задачи, четко, ясно, в краткой и наглядной форме обосновывать в пояснительной записке все принимаемые решения, технически грамотно оформлять графический материал проекта. Следует отметить, что составление пояснительной записки ввиду малого объема письменных работ в учебном процессе обычно является трудным делом для большинства студентов, и поэтому на это обстоятельство надо обращать самое серьезное внимание с первого дня проектирования. Необходимо стремиться к тому, чтобы оформление пояснительной записки шло параллельно с производимыми расчетами. Текст пояснительной записки, как следует из самого ее названия, должен пояснять и обосновывать принятые студентом решения. Эти решения должны подкрепляться окончательными итоговыми, цифровыми результатами выполненных расчетов. Рекомендуется итоговые результаты расчетов представлять в пояснительной записке в виде таблиц, а выполненные по отдельным разделам проекта детальные расчеты выносить в приложение к пояснительной записке. При таком подходе пояснительная записка легко читается, в ней четко видна методика выбора и обоснования, принятых в проекте решений.

В процессе учебного проектирования необходимо выполнить ряд работ, основными из которых являются:

1. Подготовка исходной информации.

Исходную информацию следует разделить на внешнюю и внутреннюю. Источником внешней информации при курсовом проектировании служит задание на проект. Исходной информацией в данном случае может быть: параметры системы (уровни напряжения, мощность короткого замыкания, конфигурация и т.п.); параметры нагрузки как электрической, так и тепловой; источники первичной энергии (топлива) и т.д. и т.п. Внутреннюю информацию получают в процессе проектирования. Так, например, при выборе трансформаторов необходимо предварительно определить расчётную мощность, передаваемую через трансформаторы, для выбора аппаратов и токоведущих частей необходимо знать токи в рабочих и аварийных режимах.

2. Проектирование главной электрической схемы.

Главной электрической схемой называют схему электрических и трансформаторных соединений между её основными элементами, связанными с производством, преобразованием и распределением электроэнергии. Главная электрическая схема определяет основное электрооборудование и эксплуатационные свойства электроустановки. Поэтому понятие “главная электрическая схема” переносят на саму электроустановку. Отсюда следует, что под проектированием главной электрической схемы понимают проектирование самой установки.

3. Расчет токов короткого замыкания.

Электрические аппараты и шинные конструкции распределительных устройств должны быть проверены на электродинамическую и термическую устойчивость. Отключающие аппараты (выключатели, предохранители) проверяют, кроме того, по отключающей способности. Для этого необходимо определить расчетные токи короткого замыкания, предварительно составив расчетную схему и наметив расчетные точки короткого замыканий.

4. Выбор электрических аппаратов.

Выбор аппаратов и проводников для проектируемой установки начинают с определения по заданной электрической схеме расчётных условий, а именно: расчётных рабочих токов присоединений, расчётных токов короткого замыкания и т.д.

Расчетные величины сопоставляют с соответствующими номинальными параметрами аппаратов и проводников, выбираемых по каталогам и справочникам.

При выборе аппаратов необходимо учитывать род установки (наружная или внутренняя), температуру окружающего воздуха, влажность и загрязненность помещения, а также габариты, вес, стоимость аппарата, удобство его размещения в распределительном устройстве.

Объем пояснительной записки должен состоять не менее чем из 30 – 40 листов. В пояснительную записку должны входить следующие составные части:

1. Исходные данные.
2. Введение.
3. Расчетная часть.
4. Заключение.
5. Список используемых источников.

Текст пояснительной записки должен сопровождаться принципиальной электрической схемой подстанции на формате А1. Требования к оформлению курсового

проекта излагаются отдельно в методических указаниях техникума по написанию и оформлению курсовых работ и проектов.

ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Целью данного проекта является расчет, и проектирование электрической части подстанции, основанное на расчете и выборе основного электрооборудования подстанции: трансформаторов, генераторов, шин, коммутационных аппаратов (выключателей, предохранителей, разъединителей и т.п.).

Исходные данные для курсового проектирования:

	№ варианта														
Система	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Напряжение, кВ	110	330	330	110	110	220	110	220	110	220	110	220	220	330	110
Характеристика питающего пункта	2х цепная ЛЭП														
Ток короткого замыкания $I_{к1}$, кА	15	20	15	20	15	20	15	20	10	20	10	20	20	15	15
Длина питающей воздушной ЛЭП, км	19	20	15	15	20	20	15	20	10	20	20	27	20	10	5
Потребители на НН кабельные линии КЛ1 (КЛ2) к РП															
Напряжение, кВ	6	10	6	6	10	10	6	6	10	6	6	10	6	10	6
$R_{кл1.max} = R_{кл2.max}$ (1 и 2 категории), Мвт	1,6	2	1,7	1,5	2	1,5	3	3	4	6	7	7,5	5	10	7
$\tan \phi$ в режиме максимума активной нагрузки о.е.	0,3	0,3	0,4	0,3	0,27	0,3	0,3	0,3	0,3	0,24	0,2	0,38	0,5	0,3	0,7
Потребители на НН (кабельные линии к ТП)															
Напряжение, кВ	6	10	6	6	10	10	6	6	10	6	6	10	6	10	6
Число и мощность $n \times P_{max}$. Ед. ×МВт	8×0,75	6×0,75	4×1	5×1	4×2,3	4×2,5	10×2,5	10×2,6	8×0,75	4×1	4×1	10×2,5	4×2,3	4×2,5	10×2,5
$\tan \phi$ в режиме максимума активной нагрузки о.е.	0,3	0,3	0,45	0,35	0,3	0,3	0,27	0,27	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,27	0,27
Доля потребителей 3 категории	15%	15%	25%	10%	15%	10%	5%	5%	15%	20%	15%	30%	5%	5%	15%
Потребитель	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5
Тип подстанции	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1

	№ варианта														
Система	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Напряжение, кВ	110	330	330	110	110	220	220	220	110	220	330	220	220	330	220
Характеристика питающего пункта	2х цепная ЛЭП														
Ток короткого замыкания $I_{к1}$, кА	15	20	15	20	15	20	15	20	10	20	10	20	20	15	15
Длина питающей воздушной ЛЭП, км	19	20	15	15	20	20	15	20	10	20	20	27	20	10	5
Потребители на НН кабельные линии КЛ1 (КЛ2) к РП															
Напряжение, кВ	6	10	6	6	10	10	6	6	10	6	6	10	6	10	6
$R_{кл1.max} = R_{кл2.max}$ (1 и 2 категории), МВт	1,6	2	1,7	1,5	2	1,5	3	3	4	6	7	7,5	5	10	7
$\tan \phi$ в режиме максимума активной нагрузки о.е.	0,3	0,3	0,4	0,3	0,27	0,3	0,3	0,3	0,3	0,24	0,2	0,38	0,5	0,3	0,7
Потребители на НН (кабельные линии к ТП)															
Напряжение, кВ	6	10	6	6	10	10	6	6	10	6	6	10	6	10	6
Число и мощность $n \times P_{max}$. Ед. \times МВт	8 \times 0,7 5	6 \times 0,7 5	4 \times 1	5 \times 1	4 \times 2, 3	4 \times 2, 5	10 \times 2, 5	10 \times 2, 6	8 \times 0,7 5	4 \times 1	4 \times 1	10 \times 2, 5	4 \times 2, 3	4 \times 2, 5	10 \times 2, 5
$\tan \phi$ в режиме максимума активной нагрузки о.е.	0,3	0,3	0,45	0,35	0,3	0,3	0,27	0,27	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,27	0,27
Доля потребителей 3 категории	15%	15%	25 %	10 %	15%	10%	5%	5%	15%	20 %	15 %	30%	5%	5%	15%
Потребитель	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5
Тип подстанции	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1

В таблице в графе « **Потребитель** » под номерами указаны:

- 1 – нефтеперерабатывающая промышленность;
- 2 – предприятие цветной металлургии;
- 3 – ремонтно-механический завод;
- 4 – деревообрабатывающая промышленность;
- 5 – тяжелое машиностроение.

В таблице в графе « **Тип подстанции** » под номерами указаны:

- 1 – проходная подстанция
- 2 – узловая подстанция

В соответствии со своим вариантом студенты делают курсовые проекты на следующие темы:

1. Проектирование электрической части узловой подстанции предприятия нефтеперерабатывающей промышленности.
 2. Проектирование электрической части проходной подстанции предприятия нефтеперерабатывающей промышленности.
 3. Проектирование электрической части узловой подстанции предприятия цветной металлургии.
 4. Проектирование электрической части проходной подстанции предприятия цветной металлургии.
 5. Проектирование электрической части узловой подстанции предприятия деревообрабатывающей промышленности
 6. Проектирование электрической части узловой подстанции предприятия деревообрабатывающей промышленности
 7. Проектирование электрической части проходной подстанции предприятия тяжелого машиностроения.
 8. Проектирование электрической части узловой подстанции предприятия тяжелого машиностроения.
 9. Проектирование электрической части узловой подстанции ремонтно-механического завода.
 10. Проектирование электрической части проходной подстанции ремонтно-механического завода.
1. Каждая тема в отдельности требует создания индивидуально проекта с учетом специфики отрасли промышленности (внешнего или внутреннего РУ, специальных аппаратов, выбора электрической схемы, графиков электрической нагрузки). Графики электрической нагрузки берутся из (Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: справочные материалы по электрооборудованию. Федеральное агентство по образованию. Томский политехнический университет. Учебное пособие. Томск 2005.)). **Студент может выбрать свою тему для курсового проектирования при согласовании с руководителем проекта и утверждении руководством техникума.**

1.МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К РАСЧЕТУ.

Расчёт графиков нагрузки потребителей на НН кабельные линии КЛ1 (КЛ2) к РП.

Для примера рассмотрим потребитель первой категории – нефтеперерабатывающее предприятие. Активная потребляемая мощность $P_{кл1.max} = P_{кл2.max}$

Для расчёта будем использовать графики нагрузки и коэффициента мощности нефтеперерабатывающего предприятия [4].

Коэффициент мощности $\cos\varphi_1 = 0,94$.

Полная мощность: $P_{кл1.max} = P_{кл2.max} = S_{max1} \cdot \cos\varphi_1$,

$$S_{max11} = P_{кл1.max} / \cos\varphi_1,$$

$$\text{Максимальная реактивная мощность: } Q_{max1} = \sqrt{S_{max1}^2 - P_{кл.max1}^2},$$

Так как трансформаторы и другое оборудование выбирается по средней нагрузке в наиболее загруженную смену, то для начала построим график нагрузки данной отрасли в графической (рис. 1.1.) и табличной формах (табл. 1.1).

Таблица 1.1.

Нагрузка нефтедобывающего предприятия

Интервал времени, Δt_i ч	P_i , %	P_i , МВт	Q_i , %	Q_i , МВАр	S_i , МВА
0...1					
1...2					
.....					
22...23					
23...24					

P_i и Q_i (%) берутся из графиков нагрузки нефтеперерабатывающего предприятия [2].

$$P_i (\text{МВт}) = \frac{P_{max1} \cdot P_i}{100},$$

$$Q_i (\text{МВАр}) = \frac{Q_{max1} \cdot Q_i}{100},$$

$$S_i (\text{МВА}) = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}.$$

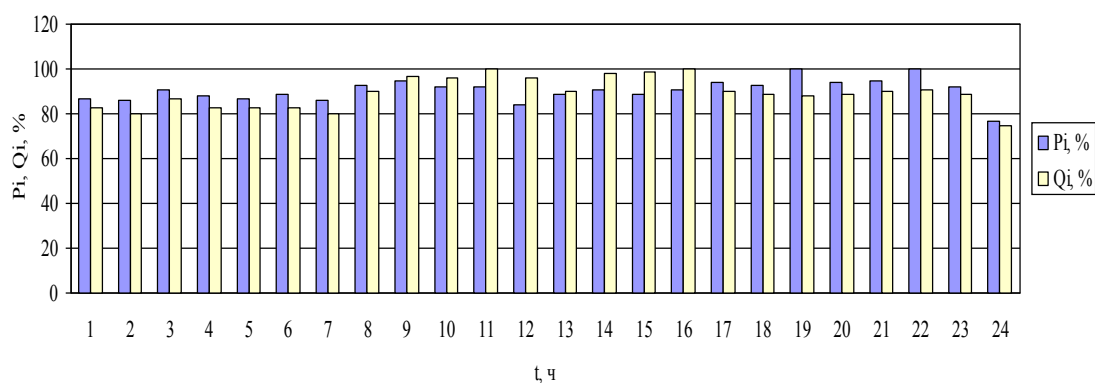


Рис. 1.1. Пример суточного графика активной и реактивной нагрузки для нагрузки потребителей на НН кабельные линии КЛ1 (КЛ2) к РП.

Расчёт графиков нагрузки потребителей на НН (кабельные линии к ТП).

Расчет производится аналогично предыдущей нагрузки.

В табл. 1.3. представлены данные по общему суточному графику нагрузки потребителя. Сам график представлен на рис. 1.3.

Таблица 1.3.

Суммарные мощности подстанции

ti, ч	P_{Σ} , МВт	Q_{Σ} , МВАр	S_{Σ} , МВА
0...1			
1...2			
.....			
22...23			
23...23			

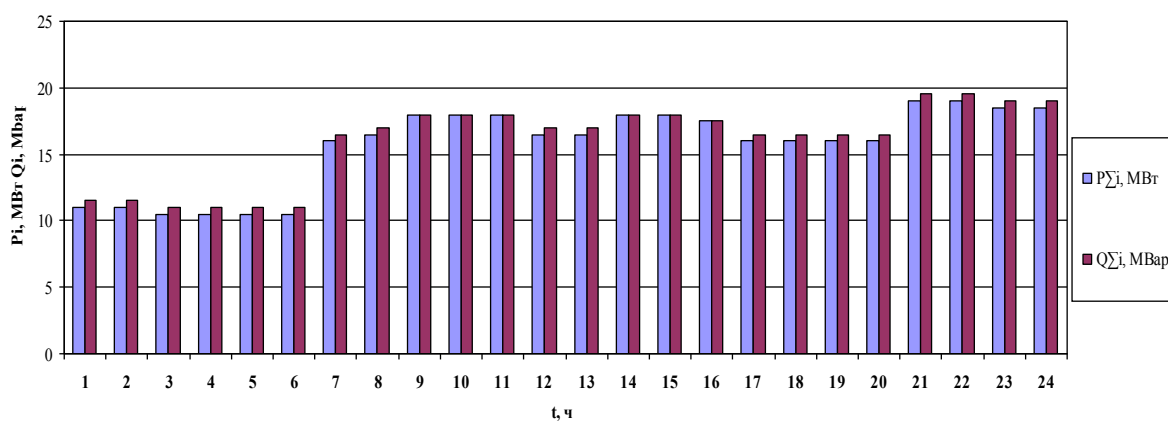


Рис. 1.3.Пример суточного графика активной и реактивной нагрузки подстанции.

Полная средняя мощность:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=0}^{24} S_i \cdot \Delta t_i}{24},$$

Активная средняя мощность:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=0}^{24} P_i \cdot \Delta t_i}{24},$$

Число часов использования максимума: $T_{\text{max}} = \frac{\sum_{i=0}^{24} P \cdot \Delta t_i}{P_{\text{max}}} \cdot 365,$

Расчёт мощности подстанции

Мощность подстанции рассчитывается по формуле

$$S_{\text{п/ст}} = S_{\text{ср}} + S_{\text{с.н.}},$$

где $S_{\text{ср}}$ – полная средняя мощность подстанции;

$S_{\text{с.н.}}$ – полная мощность потребляемая для собственных нужд.

Мощность собственных нужд потребляется с низкого напряжения подстанции (6 кВ), Нагрузка собственных нужд составляет 4 % от мощности потребителей:

$$S_{\text{с.н.}} = 0,04 \cdot S_{\text{ср}},$$

Мощность подстанции составляет:

Годовое потребление активной энергии вычислим по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^N (P_i \cdot T_i) \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

Где P_i мощность i -ой ступени графика, МВт

T_i -продолжительность i -ой ступени графика, ч

Определим активную энергию за сутки $W_{\text{сут}}$:

$$W_{\text{сут}} = W / 365 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

Средняя активная мощность за сутки $P_{\text{ср}}$:

$$P_{\text{ср}} = W_{\text{сут}} / 24 \text{ МВт}$$

Годовое число использования максимума активной мощности P_{max} нагрузки:

$$T_{\text{max}} = W / P_{\text{max}} \text{ ч}$$

Время максимальных потерь :

$$T_{\text{max}} = (0,124 + T_{\text{max}} / 10000)^2 \cdot 8760 \text{ ч}$$

Коэффициент заполнения графика:

$$K_{зп} = P_{ср} / P_{\max}$$

$$P_{\max} \text{ с учетом 3 кат} \text{ МВт}$$

$$P_{\max} \text{ без учета 3 кат} \text{ 27,2 МВт}$$

$$P_{\max \text{ 3 кат}} \text{ МВт}$$

$$Q_{\max \text{ 3 кат}} = P_{\max \text{ 3 кат}} * \operatorname{tg} \varphi \text{ МВар}$$

$$S_{\max \text{ 3 кат}} = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ МВА}$$

Выбор силовых трансформаторов.

Выбор мощности силовых трансформаторов производится с учетом аварийных и допустимых систематических перегрузок согласно ГОСТ-1420997. Аварийная нагрузка определяется из условия отказ одного трансформатора подстанции, при этом допускается отключение потребителей третьей категории. Выбор числа трансформаторов на подстанции определяется категорией потребителя. От рассчитываемой в данном курсовом проекте подстанции питаются потребители: первой и третьей категории. Согласно [1] для потребителя первой категории необходимо два независимых источника, а для третьей категории – достаточно одного.

На понизительной подстанции двумя трансформаторами расчетную мощность трансформатора можно вычислить по формуле:

$$S_{\text{т.расч.}} = (0.7-0.8) S_{1.2\max}$$

Где $S_{1.2\max}$ - максимальная мощность потребителей 1 и 2 категории. Рассчитаем значение максимальной мощности по формулам:

$$S_{1.2\max} = S_{\max \text{ ТП}} + S_{\max \text{ РП}} - S_{3 \text{ кат}}$$

Выбор трансформаторов осуществляем по следующим параметрам: $U_{\text{вн}}$ – высшее напряжение; $U_{\text{нн}} = \text{кВ}$; $S_{\text{т.ном}} = \text{МВА}$ - номинальная мощность трансформатора. Если мощность выбранного трансформатора более 25 МВА то необходимо принимать трансформаторы с расщепленной обмоткой на низшей стороне с целью ограничения токов КЗ. По справочным данным подбираем трансформатор: Данные трансформатора:

$$S_{\text{т.ном}} \text{ МВА}$$

$$U_{\text{вн}}, \text{ кВ}$$

$$U_{\text{нн}}, \text{ кВ}$$

$$U_{\text{к.мин}}, \%$$

$$U_{\text{к.ср}}, \%$$

$$U_{\text{к.мах}}, \%$$

$$\Delta P_{\text{к}}, \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{\text{х}}, \text{ кВт}$$

$I_x, \%$

Определяется коэффициент загрузки трансформатора K_z в максимальном режиме при работе всех трансформаторов.

$$K_z = S_{\max \Sigma} / (2 * S_{T.ном})$$

Где $S_{\max \Sigma} = S_{\max ТП} + S_{\max РП}$ МВА - суммарная максимальная нагрузка

Составление схемы электрических соединений подстанции.

Согласно заданию выбираем схему. Схемы РУ подстанций при конкретном проектировании разрабатываются на основании схем развития энергосистемы, схем электроснабжения района или объекта и других работ электрических сетей. Схему изобразим на рис.

Расчет токов короткого замыкания.

Расчет токов короткого замыкания производим по учебнику: Рожкова Л.Д. и др. «Электрооборудование электрических станций и подстанций». М.: Издательский центр «Академия» 2007 стр. 108. гл.3. Расчет ведется в именованных или относительных единицах.

2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ПРОВОДНИКОВ

Все электрические аппараты, токоведущие части и изоляторы на станциях и подстанциях должны быть выбраны по условиям длительной работы и проверены по условиям короткого замыкания в соответствии с указаниями “Правил устройств электроустановок” и “Руководящих указаний по расчету токов коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания”.

Выбор аппаратов и проводников для проектируемой установки начинают с определения по заданной электрической схеме расчетных условий, а именно: расчетных рабочих токов присоединений, расчетных токов короткого замыкания и т.д.

Расчетные величины сопоставляют с соответствующими номинальными параметрами аппаратов и проводников, выбираемых по каталогам и справочникам.

При выборе аппаратов необходимо учитывать род установки (наружная или внутренняя), температуру окружающего воздуха, влажность и загрязненность помещения, а также габариты, вес, стоимость аппарата, удобство его размещения в распределительном устройстве.

Различают следующие (табл. 2.1) напряжения электрических сетей и присоединенных к ним источников и приемников электрической энергии в установках выше 1000 В: номинальное междуфазное напряжение $U_{ном}$, наибольшее рабочее напряжение U_{max} и среднее рабочее напряжение U_{cp} (значения напряжений выражено в кВ).

Таблица 2.1

Величины напряжений, кВ

$U_{\text{ном}}$	3	6	10	20	35	110	150	220	330	500	750
$U_{\text{ср}}$	3,15	6,3	10,5	21	37	115	154	230	340	515	770
U_{max}	3,6	7,2	12	24	40,5	126	172	252	363	525	787

Изоляция электрических аппаратов и кабелей должна соответствовать номинальному напряжению установки U_y , для чего должно быть выполнено условие

$$U_y \leq U_{\text{ном}},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение аппарата или кабеля.

Расчетные условия для выбора проводников и аппаратов по продолжительным режимам работы

Продолжительный режим работы электротехнического устройства – это режим, продолжающийся не менее чем необходимо для достижения установившейся температуры его частей при неизменной температуре охлаждающей среды.

Продолжительный режим имеет место, когда электроустановка находится в одном из следующих режимов: нормальном, ремонтном, послеаварийном.

Нормальный режим предусмотрен планом эксплуатации. В нормальном режиме функционируют все элементы данной электроустановки, без вынужденных отключений и без перегрузок. Ток нагрузки в этом режиме может меняться в зависимости от графика нагрузки.

Для выбора аппаратов и проводников следует принимать наибольший ток нормального режима $I_{\text{норм}}$.

Ремонтный режим – это режим плановых профилактических и капитальных ремонтов. В этом режиме часть элементов электроустановки отключена, поэтому на оставшиеся в работе элементы ложится повышенная нагрузка. При выборе аппаратов и проводников необходимо учитывать это повышение нагрузки до $I_{\text{рем. max}}$.

Послеаварийный режим – это режим, в котором часть элементов электроустановки вышла из строя или выведена в ремонт вследствие аварийного отключения. При этом режиме возможна перегрузка оставшихся в работе элементов электроустановки током $I_{\text{пав. max}}$.

Из двух последних режимов выбирают наиболее тяжелый, когда в элементе электроустановки проходит наибольший ток I_{max} .

Таким образом, расчетными токами продолжительного режима являются: $I_{\text{норм}}$ – наибольший ток нормального режима; I_{max} – наибольший ток ремонтного или послеаварийного режима. Расчетные условия нормального и максимального режимов вполне индивидуальны для каждого присоединения и требуют конкретного анализа.

Выбор проводов ВН и шин НН.

Определяем расчетные токи для проводников со стороны высокого и низкого напряжений по формуле:

$$I_{\text{раб.форс}} = S_{\text{max}} / (\sqrt{3} * U)$$

$$I_{\text{раб.форс.вн}} = S_{\text{max}} / (\sqrt{3} * U_{\text{внА}}$$

$$I_{\text{раб.форс.нн}} = S_{\text{max}} / (\sqrt{3} * U_{\text{ннА}}$$

$$I_{\text{расч.}} = I_{\text{раб.форс}} / 2$$

$$I_{\text{расч.вн}} = I_{\text{раб.форс.вн}} / 2 = A$$

$$I_{\text{расч.нн}} = I_{\text{раб.форс.нн}} / 2 = A$$

По величине максимальных нагрузок и экономической плотности тока выбираем сечение проводников:

$$F = I_{\text{рас}} / j_{\text{эк}}$$

Выбираем для своего напряжения провод сечением (по условиям короны).

Для низшего напряжения выбираем шину.

Выбранные проводники проверяем по нагрузкам в послеаварийном режиме (по нагреву).

Проверяем проводники НН на термическую стойкость. Минимальное сечение проводника, отвечающее требованию термической стойкости, можно приближено определить из выражения:

$$F_{\text{min}} = \sqrt{B_k / C}$$

Где C – коэффициент, учитывающий материал проводника, $\text{кА}^2 * \text{с}^{1/2}$

B_k – тепловой импульс квадратичного тока, $\text{кА}^2 * \text{с}$, при удаленном К.З. определяемый по формуле:

$$B_k = I_k^2 * (t_{\text{откл}} + T_a) \text{ А}^2 * \text{сек}$$

где $t_{\text{откл}}$ – время отключения короткого замыкания, с

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз.мах}} + t_{\text{пв}}$$

где $t_{\text{рз.мах}}$ – макс время действия релейной защиты, с,

$t_{\text{пв}}$ – полное время отключения выключателя, с;

T_a – постоянная затухания

Выбранное сечение проводников НН должно быть больше минимально допустимого по условиям термической стойкости.

Выбор сечений кабельных линий для питания РП.

$$I(\text{раб. форс}) = S_{\text{расч}} / (\sqrt{3} * U_{\text{ном}})$$

Выбираем по таблице кабель с допустимым током

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{раб.форс}}$$

Проверяем кабель на термическую стойкость:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}$$

Выбор сечений кабельных линий для питания ТП

Определяем расчетный рабочий ток ТП:

$$I_{доп.} = \sqrt{(P^2 + Q^2)} / (\sqrt{3} \cdot U_A)$$

Определяем $F_{расч}$

По таблице выбираем кабель. Проверяем выбранный кабель на термическую стойкость:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C}$$

Выбор выключателей ВН.

Выключатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения тока. Выключатель является основным аппаратом в электрических установках, он служит для отключения и включения в цепи в любых режимах: длительная нагрузка, перегрузка, короткое замыкание, холостой ход, несинхронная работа. Наиболее тяжелой и ответственной операцией является отключение токов КЗ и включение на существующее короткое замыкание.

Согласно рассчитанным значениям максимальных токов, протекающих по двухцепным линиям и линиям, подходящим к трансформаторам, к установке принимаем выключатели наружного исполнения. Условия выбора, данные аппарата и сети сведем в табл.

Найдем интеграл Джоуля по формуле :

$$B_k = (I_{к1}^{(3)})^2 \cdot (t_{рз} + t_{откл.в.} + T_{a1}) ,$$

где $t_{рз}$ – время включения релейной защиты (0,1с),

$t_{откл.в.}$ – время отключения выключателя (с),

$I_{к1}^{(3)}$ и T_{a1} – значения взяты из пункта 5.

$$B_k = 1,5^2 \cdot (0,1 + 0,05 + 0,097) = 0,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} .$$

Выбираем выключатели из справочника «Электрическая часть электростанций и подстанций» Под редакцией Неклепаева Б.Н.. Проверку выбранных аппаратов проводим по следующим параметрам:

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ;

$I_{ном}$ – номинальный ток, А;

$I_{дин}$ – ток электродинамической стойкости (действующее значение периодической составляющей), кА;

$i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости (наибольший пик), кА;

$I_{н откл}$ – номинальный ток отключения, кА;

$I_{тер}$ – ток термической стойкости, кА;

$t_{тер}$ – время протекания тока термической стойкости, с.

Сравнение min необходимых параметров с паспортными данными выключателей приведено в таблице:

Расчетные параметры	Условия выбора	Технические характеристики выключателя
$U_{уст} = \text{кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{ном} = \text{кВ}$
$I_{раб\ max} = A$	$I_{р\ форс} \leq I_{ном}$	$I_{ном} = A$
$I'' = \text{кА}$	$I'' \leq I_{дин}$	$I_{дин} = \text{кА}$
$I_{уд} = \text{кА}$	$i_y \leq i_{дин}$	$i_{дин} = \text{кА}$
$I_{n\tau} = I_k A$	$I_{n\tau} \leq I_{ноткл}$	$I_{н\ откл} = \text{кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau} \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ноткл} \cdot (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot I_{ноткл} \cdot (1 + \beta_n) \text{ кА}$
$B_k = \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

$$\beta = i_{ат.ном} / (\sqrt{2} \cdot I_{отк.ном})$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

На напряжении 110 кВ и выше проверка на термическую стойкость не производится. Выбранные выключатели должны соответствовать критериям необходимой надежности.

Выбор выключателей НН.

Выбор выключателей отходящих линий выполняем аналогично выбору выключателей ВН.

Сравнение min необходимых параметров с паспортными данными

Расчетные параметры	Условия выбора	Технические характеристики выключателя
$U_{уст} = \text{кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{ном} = \text{кВ}$
$I_{раб\ max} = A$	$I_{р\ форс} \leq I_{ном}$	$I_{ном} = A$
$I_k = A$	$I'' \leq I_{дин}$	$I_{дин} = \text{кА}$

$i_y = A$	$i_y \leq i_{дин}$	$i_{дин} = \kappa A$
$I_n = I_\kappa = 1 A$	$I_{n\tau} \leq I_{ноткл}$	$I_{ноткл} = A$
$\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau} =$	$\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ноткл} \cdot (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot I_{ноткл} \cdot (1 + \beta_n) = \kappa A$
$B_k = A^2 \cdot c$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = \kappa A^2 c$

$$I_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I // \cdot e^{-\tau/T_a} = A$$

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a) A^2 \cdot \text{сек}$$

$$\beta = i_{a\tau, \text{ном}} / (\sqrt{2} \cdot I_{отк, \text{ном}})$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = \kappa A^2 \cdot c$$

Выбранные выключатели должны соответствовать критериям необходимой надежности.

Выбор секционного выключателя.

Определяем расчетный ток $I_{расч}$ протекающий через него при включенном состоянии.

Он будет равняться сумме токов протекающих через кабельные линии к РП и к одной ТП.

Определяем расчетные токи для кабельных линий ТП и РП:

$$I_{расч, \text{кл РП}} = (\kappa A)$$

$$I_{расч, \text{кл ТП}} = (\kappa A)$$

$$I_{расч} = I_{расч, \text{кл РП}} + I_{расч, \text{кл ТП}} A$$

Выбираем выключатель.

Сравните min необходимых параметров с паспортными данными выключателей:

Расчетные параметры	Условия выбора	Технические характеристики выключателя
$U_{уст} = \kappa B$	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{ном} = \kappa B$
$I_{раб \max} = A$	$I_{рфорс} \leq I_{ном}$	$I_{ном} = A$
$I_\kappa = A$	$I'' \leq I_{дин}$	$I_{дин} = \kappa A$
$i_y = A$	$i_y \leq i_{дин}$	$i_{дин} = \kappa A$
$I_n = I_\kappa = A$	$I_{n\tau} \leq I_{ноткл}$	$I_{ноткл} = \kappa A$
$\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau} =$	$\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{ноткл} \cdot (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot I_{ноткл} \cdot (1 + \beta_n) = 24$
$B_k = \kappa A^2 \cdot c$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = \kappa A^2 c$

Выбранный выключатель должен соответствовать критериям необходимой надежности.

Выбор разъединителей, отделителей, короткозамыкателей.

Разъединитель – это контактный коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения электрической цепи без тока или с незначительным током, который для обеспечения безопасности имеет между контактами в отключенном положении изоляционный промежуток. Основными параметрами для выбора разъединителей являются номинальные ток и напряжение.

Результаты проверки параметров разъединителей:

Расчетные параметры	Условия выбора
$U_{уст} = \text{кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{рфорс} = \text{А}$	$I_{рфорс} \leq I_{ном}$
$i_y = \text{кА}$	$i_y \leq i_{дин}$
$B_k = \text{А}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

$$B_k = I_k^2 \times (t_{откл} + T_a) = \text{кА}^2 \cdot \text{сек}$$

Выбранные разъединители соответствуют предъявляемым требованиям.

Аналогично выбираем отделитель.

Расчетные параметры	Условия выбора
$U_{уст} = \text{кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{рфорс} = \text{А}$	$I_{рфорс} \leq I_{ном}$
$i_y = \text{кА}$	$i_y \leq i_{дин}$
$B_k = \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Аналогично выбираем короткозамыкатель.

Расчетные параметры	Условия выбора
$U_{уст} = \text{кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$i_y = \text{кА}$	$i_y \leq i_{дин}$
$B_k = \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Учет электроэнергии измерения на подстанции

Выбор трансформаторов тока

Трансформатор тока предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Для измерения на высокой стороне выбираем трансформатор тока. Коммерческий учёт электроэнергии на высокой стороне не ведется,

Выбор ТТ на ввод НН.

Нарисуем схему подключения контрольно-измерительных приборов на подстанции.

Наименование прибора	Фаза А	Фаза В	Фаза С
	ВА	ВА	ВА
Амперметр		0,1	
Ваттметр			
Варметр			
Счетчик активной энергии			
Счетчик реактивной энергии			
Суммарная нагрузка			

Для расчет выберем максимальную загруженную фазу В

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{\text{ном}}^2 = \text{Ом}$$

где $R_{\text{приб}}$ – сопротивление подключенных приборов,

$S_{\text{приб}}$ - мощность подключенных приборов,

$I_{\text{ном}} = 5 \text{ А}$ - номинальный ток ТТ.

$$R_{\text{пров}} = (\rho * L) / S \text{ Ом}$$

Где $\rho = 0,018 \text{ (Ом*мм}^2\text{)/м}$ - удельная проводимость меди

S - сечение провода

L - длина провода в КРУ

$$R_{\text{нагр}} = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{контакт}} = \text{Ом}$$

где $R_{\text{контакт}} = 0,1 \text{ Ом}$ – сопротивление контактов

Выбираем трансформатор тока. Проведем проверку в таблице.

Параметр		Паспорт	сравнение	Расчетное
U	кВ		>	
I	А		>	
$I_{\text{терм}}/t$	кА/с			
B_k	кА ² *с		>	
$R_{\text{наг}}$	Ом		>	

Выбор ТТ на межсекционную связь НН

Прибор	А	С
Амперметр		
Суммарная нагрузка		

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{\text{ном}}^2 \text{ Ом}$$

где $R_{\text{приб}}$ – сопротивление подключенных приборов,
 $S_{\text{приб}}$ - мощность подключенных приборов,
 $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток ТТ.

$$R_{\text{пров}} = (\rho * L) / S \text{ Ом}$$

Где $\rho = 0,018$ (Ом*мм²)/м-удельная проводимость меди

S-сечение провода

L-длина провода в КРУ

$$R_{\text{нагр}} = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{контакт}} \text{ Ом}$$

Выберем трансформатор тока

ТТ	Параметр		Паспорт	сравнение	Расчетное
	U	кВ		>	
	I	А		>	
	I _{терм} /t	кА/с		>	
	B _k	кА ² *с		>	
	R _{наг}	Ом		>	

Выбор ТТ на отходящих соединениях

Прибор	А	С
амперметр		
счетчик активной и реактивной энергии		
Суммарная нагрузка		

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{\text{ном}}^2 = 3/25 = 0,12 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{\text{ном}}^2 \text{ Ом}$$

где $R_{\text{приб}}$ – сопротивление подключенных приборов,
 $S_{\text{приб}}$ - мощность подключенных приборов,
 $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток ТТ.

$$R_{\text{пров}} = (\rho * L) / S \text{ Ом}$$

Где $\rho = 0,018$ (Ом*мм²)/м-удельная проводимость меди

S-сечение провода

L-длина провода в КРУ

$$R_{\text{нагр}} = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{контакт}} \text{ Ом}$$

Параметр		Паспорт	сравнение	Расчетное
U	кВ		>	
I	А		>	
Iтерм/t	кА/с			
Bk	кА ² *с		>	
Rнаг	Ом		>	

Выбор трансформатора напряжения

Трансформаторы напряжения предназначены для понижения высокого напряжения до стандартного значения 100 или $100\sqrt{3}$ В и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Нагрузка на ТН на 1 секцию шин

Прибор	Тип прибора	Класс точности	кол-во	Спотреб 1 обмоткой	кол-во обмоток	cos/tg	Pp	Qp
Вольтметр								
Ваттметр								
Варметр								
Счётчик активной энергии								
Счётчик реактивной энергии								
Суммарные величины								

$$S_{\text{нагр}} = \sqrt{(P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2)} \text{ ВА}$$

$$S_{\text{нагр}0,5} = \sqrt{(P_{\text{нагр}}^2 + Q_{\text{нагр}}^2)} \text{ ВА}$$

где $S_{\text{нагр}}$ – полная мощность подключённых приборов,

$P_{\text{наг}}$ – активная мощность подключённых приборов,

$Q_{\text{наг}}$ – реактивная мощность подключённых приборов.

Паспортные данные ТН

Тип	Номинальное напряжение обмоток		Номинальная мощность, ВА в классе точности				Предельная мощность, ВА	Схема соединения
	U ₁ , кВ	U ₂ , В	0,2	0,5	1	3		

Трансформаторы напряжения проверяются только по номинальному напряжению и нагрузке приборов в соответствующем классе точности.

Список рекомендуемой литературы

1. Афанасьев и др. «Трансформаторы тока» - Л.:Энергия,1980.
2. Батхон И.С. «Справочник по электрическим установкам высокого напряжения». М.,Энегия,1974.
3. Васильев А.А. и др. «Электрическая часть станций и подстанций; - М.:Энергия,1980.
4. Кабышев А.В., Обухов С.Г.Расчет и проектирование систем электроснабжения: справочные материалы по электрооборудованию. Федеральное агентство по образованию. Томский политехнический университет. Учебное пособие. Томск 2005.
5. Конюхова Е.А «Электроснабжение объектов.. М.Издательство «Мастерство» 2001
6. Крючков И.П., Неклепаев Б.Н. «Электрическая часть электростанций и подстанций» М.:Энергия.1978г.
7. Рожкова Л.Д.и др. «Электрооборудование электрических станций и подстанций». М.: Издательский центр «академия»2007